

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И.,
канд. техн. наук БОГДАНОВИЧ С. В., инж. ЖИЛИНСКИЙ В. И.*

*Белорусский национальный технический университет,
РУП «Белдорцентр»*

Основной задачей дорожных эксплуатационных организаций является обеспечение безопасного, бесперебойного движения транспортных средств в любое время года и суток. В зимний период негативное влияние на этот процесс могут оказать метеорологические явления, такие как образование гололеда на поверхности автомобильной дороги, выпадение обильных осадков в виде снега и др.

Наиболее опасными для участников дорожного движения являются различные виды зимней скользкости, поскольку при этом резко снижается коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, что может привести к потере управляемости автомобилем и вызвать дорожно-транспортные происшествия. Не допустить образования гололедных явлений можно только на основе прогнозирования скользкости.

Зимняя скользкость и условия ее образования. Прогноз различных метеорологических явлений – чрезвычайно сложная задача ввиду большого количества влияющих факторов и их недетерминированного характера.

Общие условия образования гололедных явлений достаточно хорошо известны. Однако эти знания относятся к некоторому общему случаю и не учитывают многие факторы, которые имеют место на реальных автомобильных дорогах: рельеф местности, растительность, направление ветра и др. Принято выделять следующие виды зимней скользкости.

1. Гололед – слой плотного льда, нарастающего на поверхности автомобильной дороги при выпадении переохлажденного дождя или мороси, при тумане и перемещении низких слоистых облаков при отрицательной температуре воздуха у поверхности земли, близкой к 0 °С. Чем меньше капли и чем ниже температу-

ра воздуха, тем более слоистым и менее плотным оказывается гололед. При температурах, близких к нулю, он бывает стекловидно-прозрачным и очень плотным. Температура воздуха у поверхности земли при гололеде чаще всего находится в пределах от +0,5 до –3 °С, в отдельных случаях – от –8 до –10 °С [1].

2. Изморозь различают следующих видов:

- зернистая изморозь – снеговидный осадок в виде рыхлого, зернистого льда, часто по внешнему виду зернистая изморозь близка к гололеду. Образуется вследствие намерзания на поверхности покрытия автомобильной дороги капель переохлажденного тумана, в основном при температуре от –3 до –8 °С. Отлагается преимущественно с наветренной стороны;

- кристаллическая изморозь – белый осадок, состоящий из ясно различимых кристаллов, свободных или имеющих незначительное количество оледеневших капель тумана. Возникает в результате сублимации водяного пара при дымке или тумане при температуре воздуха в пределах от –11 до –25 °С [2].

3. Обледеленый мокрый снег – ледяная масса, по внешнему виду напоминающая очень плотную изморозь. Образуется в результате быстрого замерзания мокрого снега, выпадение которого происходит при положительной температуре воздуха от 0,1 до 2 °С и скорости ветра до 6 м/с. По размерам отложения может превосходить гололед, поэтому является опасным видом обледенения [3].

4. Гололедица – представляет собой корку льда на поверхности покрытия автомобильной дороги, образовавшуюся в результате замерзания дождевой или талой воды [4].

5. Твердый налет – сплошной ледяной налет, образующийся при быстром потеплении

после устойчивых морозов на покрытиях, обладающих значительной температурной инерцией [5].

Повторяемость обледенения покрытия автомобильных дорог зависит от климатических и орографических условий. Так, наибольшая повторяемость гололеда, зернистой изморози и твердого налета наблюдается в районах, подверженных резким изменениям погоды от сильного мороза к оттепели и наоборот, наименьшая – там, где зимой преобладает устойчивая морозная погода. Для территории Республики Беларусь характерны резкие переходы от мороза к оттепели и наоборот. Большое значение имеют относительная высота проезжей части автомобильной дороги, т. е. превышение ею окружающей местности, а также форма рельефа. Наибольшая повторяемость гололеда и плотной изморози наблюдается на возвышенностях, вершинах холмов, относительная высота которых над окружающей местностью превышает 50 м, а также на наветренных склонах. Наименьшая повторяемость гололеда отмечается в долинах рек и низинах. Повторяемость кристаллической изморози больше в тех районах, где в холодное время года преобладает антициклонический характер погоды с радиационными туманами.

Степень опасности обледенения покрытия автомобильной дороги принято характеризовать толщиной слоя льда, который образуется за время нарастания ледяного отложения.

Гололедно-изморозевые отложения будут тем больше, чем дольше выпадение переохлажденного дождя, мороси, чем дольше наблюдаются низкие слоистые облака или адвективный и радиационный туман. Гололед обычно образуется при адвекции теплого и влажного воздуха.

По метеорологическому принципу образования гололед бывает внутримассовым и фронтальным.

Внутримассовый гололед возникает в зонах адвекции теплоты и влаги на западной и северной перифериях стационарных антициклонов, а также на восточной и южной перифериях стационарных циклонов. В этих случаях в пограничном слое атмосферы чаще всего наблюдается инверсия температуры, начинающаяся на

высоте 500–1000 м от поверхности земли и распространяющаяся до высоты 1200–1500 м.

Благоприятные условия для образования гололеда создаются в том случае, когда достаточно мощная слоистая облачность располагается не только под инверсией, но и в самом слое инверсии, где температура часто достигает положительных значений. Если в процессе образования гололеда слоистые облака снижаются, достигая земной поверхности (адвективный туман), или проходят над более возвышенными местами, то гололед может возникать и без морозящих осадков в результате оседания на предметы капель адвективного тумана.

Фронтальный гололед в основном наблюдается перед теплыми фронтами, перемещающимися со скоростью 20–30 км/ч, в зоне шириной 100–200 км, где выпадает переохлажденный дождь. Если при этом температура у поверхности земли отрицательная (близкая к 0 °С), то вероятность образования гололеда большая.

Наиболее способствуют образованию гололеда:

- переохлажденный дождь, морось, туман или низкая слоистая облачность в различном их сочетании;
- мощные слои инверсии в пограничном слое атмосферы;
- температура воздуха от 0,5 до –3 °С;
- температура воздуха на нижней границе первого от поверхности земли слоя инверсии от –0,5 до –8 °С;
- суммарный дефицит точки росы в 3–5 °С и менее;
- очаг теплого воздуха на поверхности;
- умеренные и сильные ветры в пограничном слое атмосферы.

Образование гололедицы – ледяной пленки или корки льда на дорогах – зависит не только от атмосферных условий, но и от свойств подстилающей поверхности, на которой они образуются. Если температура поверхности дорог несколько ниже нуля, а температура воздуха положительна (но близка к нулю), то при выпадении дождя или мороси на поверхности дорог происходит отложение льда [6].

Наиболее опасные отложения льда на дорожных покрытиях образуются при замерзании жидкой влаги. В этих случаях появляется тонкая стекловидная и прозрачная (реже матовая)

ледяная пленка с гладкой поверхностью, значительно ухудшающая условия движения автотранспорта.

Отложение льда, связанное с зернистой изморозью, представляет собой ледяную корку матово-белого цвета, также опасную для движения автотранспорта.

Обледенение дорог, которое возникает вследствие выпадения твердых осадков (снежный накат и оледенелый снег), не всегда приводит к сильному скольжению на дорогах, поэтому оно менее опасно по сравнению с другими видами обледенения. Атмосферные процессы, которые приводят к образованию гололедицы, характеризуются адвекцией теплого и влажного воздуха. Наиболее благоприятными синоптическими и метеорологическими условиями гололедицы являются те же, что и для образования гололеда, зернистой изморози и других видов обледенения.

Прогнозирование образования скользкости дорожных покрытий. Как уже отмечалось выше, прогнозирование гололедообразования на автомобильных дорогах затрудняют многие локальные факторы. По этой причине методы прогнозирования развиваются в сторону статистических способов. Заблаговременность таких методов в большинстве случаев невысока – 2–3 ч. Однако этого во многих случаях достаточно для проведения профилактической обработки покрытий.

Графический метод прогноза гололедицы был разработан еще для европейской территории СССР, его заблаговременность составляет 12–36 ч [6]. Если ожидается адвекция теплого и влажного воздуха, температура поверхности покрытия автомобильной дороги несколько ниже 0 °C и одно из явлений – дождь, снег, мокрый снег, ледяные зерна, морось, туман, дымка или низкие слоистые облака – и на поверхности покрытия автомобильной дороги имеется дождевая или талая вода, то по графику дается прогноз гололедицы (рис. 1). Основным прогностическим признаком прекращения гололедицы является повышение температуры поверхности покрытия до положительных значений. Такой вид прогноза был характерен для времени использования визуальных наблюдений и является обобщенным для большой территории, поскольку учитывает макроклимат.

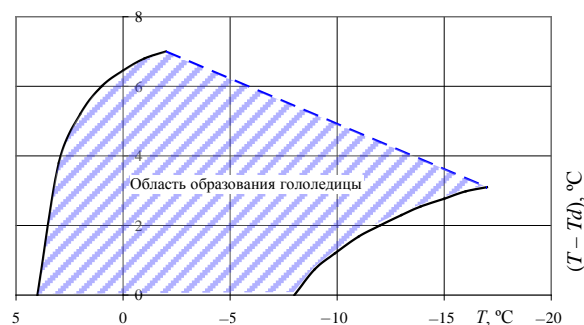


Рис. 1. График для прогноза скользкости покрытия: T – температура воздуха; $T - T_d$ – дефицит точки росы у поверхности земли

Другую разновидность прогноза представляет анализ графиков температуры воздуха и точки росы во времени (рис. 2). Если температура покрытия отрицательная, а линии температур сближаются, то при их пересечении произойдет образование гололеда.

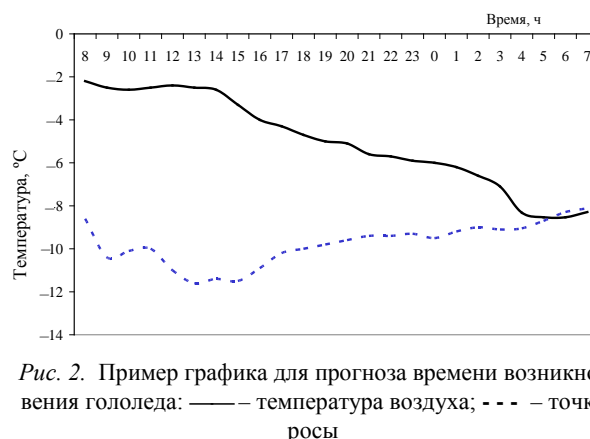


Рис. 2. Пример графика для прогноза времени возникновения гололеда: — — температура воздуха; - - - — точка росы

Рассмотрим некоторые особенности прогнозирования зимней скользкости на территории Республики Беларусь по статистическим данным, полученным дорожными измерительными станциями. Станциями фиксируются метеорологические параметры: температура поверхности покрытия автомобильной дороги; температура окружающего воздуха; влажность окружающего воздуха; скорость и направление ветрового потока; состояние покрытия, т. е. наличие на поверхности покрытия снега, гололеда и др.

Нами обработаны данные за 2003–2006 гг. Установлено, что образование гололеда на поверхности покрытия автомобильной дороги происходит при сочетании следующих параметров:

- температура воздуха находится в пределах от +2 до –3 °С, температура покрытия автомобильной дороги отличается от температуры воздуха на 0–1 °С, влажность воздуха находится в пределах более 92 %;

- температура воздуха находится в пределах от –3 до –5 °С, температура покрытия автомобильной дороги отличается от температуры воздуха на 1–2 °С, влажность воздуха находится в пределах от 85 до 92 %;

- температура воздуха – в пределах от –5 до –10 °С, разность температур покрытия и воздуха составляет до 3 °С и влажность воздуха – от 75 до 85 %;

- температура воздуха находится ниже –10 °С, температура покрытия автомобильной дороги отличается от температуры воздуха от 3 до 5 °С, влажность воздуха составляет менее 75 %.

Данные, получаемые дорожными измерительными станциями, применимы, как правило, к участку местности в радиусе до 10 км вокруг станции. Для более детального изучения изменения температуры покрытия автомобильной дороги с использованием мобильной лаборатории по термокартированию производилось измерение температуры покрытия на всем его протяжении. Учитывались рельеф местности, растительность в придорожной полосе. На основании произведенных исследований было отмечено, что на изменение температуры покрытия влияет прохождение автомобильных дорог:

- по мостам, путепроводам, эстакадам, когда происходит обдув ветром как верха покрытия, так и низа искусственного сооружения;
- по открытым участкам;
- по низким участкам при копировании профилем форм рельефа;
- в глубокой выемке.

На основании обработки данных дорожных измерительных станций и проведенных измерений температуры покрытия автомобильной дороги была выведена эмпирическая формула для определения температуры покрытия автомобильной дороги при известной температуре окружающего воздуха и нескольких коэффициентов, учитывающих изменение температуры покрытия:

$$t_{\text{пок}} = t_{\text{воз}} \pm K_W \pm K_{\text{ветр}} \pm K_{\text{раст}}. \quad (1)$$

где $t_{\text{пок}}$ – определяемая температура покрытия автомобильной дороги, °С; $t_{\text{воз}}$ – измеренная температура воздуха, °С; K_W – коэффициент, учитывающий степень влияния изменения температуры покрытия в результате изменения влажности окружающего воздуха; $K_{\text{ветр}}$ – то же направления ветра; $K_{\text{раст}}$ – коэффициент, учитывающий степень влияния растительности (леса) на изменение температуры покрытия автомобильной дороги.

Определение величины коэффициентов (1) выполнено на основе анализа большого количества данных, полученных дорожными измерительными станциями в зимний период 2004–2006 гг. Так, за одну зиму количество показаний только одной станции превышает 18 тыс. Всего рассмотрено по четыре станции в каждой области. Для каждой области определялись значения коэффициентов.

Так, для Брестской области роза ветров преобладающего направления ветра в течение года и распределение ветров с диапазонами температур, способствующих образованию гололеда, выглядят следующим образом (рис. 3).

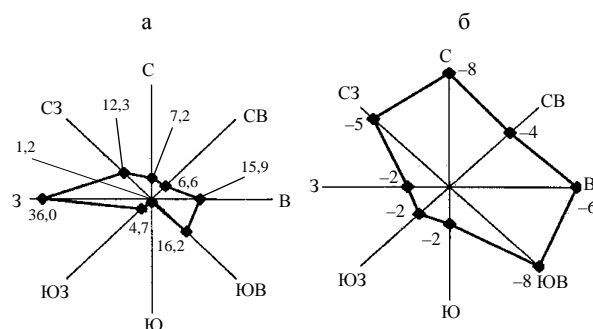


Рис. 3. Характеристика ветров для Брестской области: а – преобладающие направления в течение года; б – опасные по условиям гололедообразования температуры воздуха

На основании анализа графиков и данных об образовании гололеда и температуре покрытия можно установить коэффициент, учитывающий влияние изменения температуры покрытия в результате изменения направления ветра по Брестской области, который называют коэффициентом ветрового потока. Наиболее опасными и часто повторяющимися являются случаи, когда температура окружающего воздуха находится в пределах от +2 до

–5 °С. Преобладающим является западное направление, и при нем средняя температура воздуха составляет –2 °С, коэффициент ветрового потока в этом случае составляет –1. Все коэффициенты ветрового потока представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты ветрового потока для Брестской области

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Коэффициент ветрового потока	+0,5	–0,5	+0,5	+1	–0,5	–0,5	–1	0

Аналогично определялись коэффициенты влажности. Все значения влажности разбивались на следующие диапазоны: менее 60 %; от 60 до 65 %; от 65 до 70 %; от 70 до 75 %; от 75 до 80 %; от 80 до 85 %; от 85 до 90 %; от 90 до 95 % и более 95 %.

Например, для Брестской области имеют место следующие распределения температуры и влажности в зимний период (рис. 4, 5).

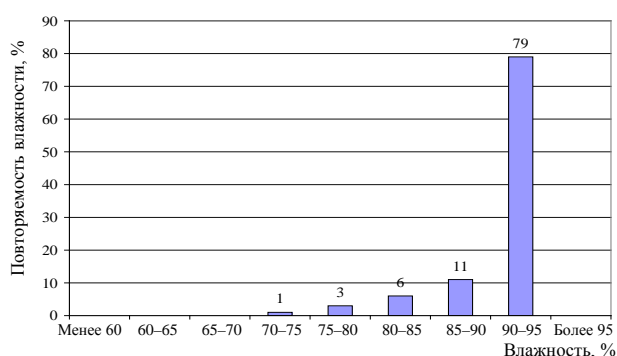


Рис. 4. Диаграмма распределения влажности воздуха в Брестской области в зимний период

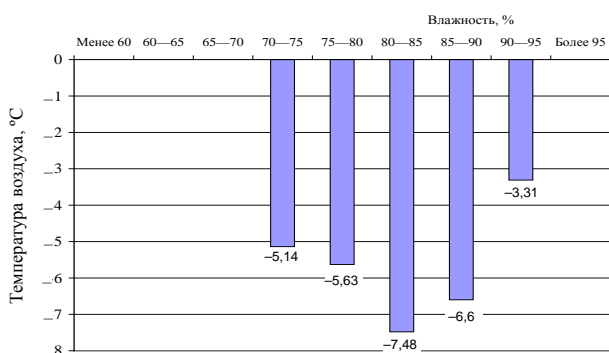


Рис. 5. Средняя температура воздуха для заданного диапазона влажности по Брестской области в зимний период

После обработки данных получены значения коэффициентов, учитывающих влияние изменения температуры покрытия в результате изменения влажности окружающего воздуха (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты влажности для Брестской области

Интервал влажности, %	Менее 60	60–65	65–70	70–75	75–80	80–85	85–90	90–95	Более 95
Коэффициент влажности	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	0	–0,5	–0,5	–1	–1

Анализ данных дорожных измерительных станций для целей разработки прогнозных моделей имеет определенное преимущество по сравнению с анализом данных многолетних метеорологических наблюдений, поскольку они уже несколько неадекватно отражают ситуацию. Это объясняется тем, что, по данным исследований климата, проведенных Республиканским гидрометеорологическим центром, с 1988 г. началось интенсивное потепление. Средняя температура января и февраля 1989 г. превышала норму на 7–7,5 °С, в марте и апреле – на 3–5 °С. Лишь с мая температура стала колебаться вблизи средних значений. В целом этот год оказался самым теплым за столетний период, превысил норму на 2,2 °С и несколько меньше на западе (в Брестской и Гродненской областях) – на 0,8 °С. Значительное повышение температуры характерно в основном для зимних месяцев. Ядро зимы – период самых низких температур – в ряде лет сдвинулось на начало зимы, а в отдельные годы (1993, 1998) – даже на ноябрь. Переход температуры воздуха через 0 °С в отдельные годы в ряде районов Беларуси отмечен в феврале, а в 1989, 1990 и 2002 гг. – в январе. В целом для зимнего периода характерными стали оттепели, увеличилась их продолжительность [7].

Как отмечалось, образование гололеда на покрытии связано с разностью между температурой воздуха и температурой покрытия, и формулу (1) можно записать в виде

$$t_{\text{пок}} - t_{\text{воз}} = \pm K_W \pm K_{\text{ветр}} \pm K_{\text{раст}}.$$

С использованием (1) можно прогнозировать возникновение гололеда на покрытии автомобильной дороги. При этом необходимо

учитывать два метеорологических параметра – температуру и влажность воздуха.

Нами установлено, что образование гололеда будет происходить в случаях, если:

1) сумма коэффициентов находится в пределах от 0 до 1, а температура воздуха – от +2 до –3 °С, влажность воздуха – более 92 %;

2) сумма коэффициентов находится в пределах от 1 до 2, а температура воздуха – от –3 до –5 °С, влажность воздуха – от 85 до 92 %;

3) сумма коэффициентов равна 3, температура воздуха находится в пределах от –5 до –10 °С, влажность воздуха – от 75 до 85 %;

4) сумма коэффициентов равна более 3, температура воздуха – ниже –10 °С, влажность воздуха – менее 75 % [8].

ВЫВОДЫ

1. Большое количество видов зимней скользкости и влияние на ее образование многих локальных факторов значительно осложняют прогнозирование гололедообразования на дорожных покрытиях. По этой причине широкое распространение получили статистические методы прогноза, основанные на обработке большого количества экспериментальных данных.

2. Нами предложена эмпирическая модель прогноза температуры покрытия в зависимости от температуры воздуха, влажности, направления ветра и наличия растительности вдоль дороги.

3. С использованием большого количества данных, полученных дорожными измерительными станциями, определены значения эмпи-

рических коэффициентов, входящих в модель прогноза температуры покрытия. Полученную модель в дальнейшем можно использовать для прогнозирования образования скользкости в период зимней эксплуатации автомобильных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонович, И. И.** Дорожная климатология: учеб. / И. И. Леонович. – Минск: БНТУ, 2005. – 485 с.
2. **Васильев, А. П.** Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях / А. П. Васильев. – М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
3. **Заморский, А. Д.** Атмосферный лед: иней, гололед и град / А. Д. Заморский. – М.: Гидрометеиздат, 1955. – 450 с.
4. **Библиографический указатель: борьба с обледенением и ледовыми затруднениями** / С. М. Алеников [и др.]. – Л., 1977. – 44 с.
5. **Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах** / Г. В. Бялобжеский [и др.]. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
6. **Веселов, Е. П.** Метеорологические условия образования и прогноз гололедицы: метод. письмо / Е. П. Веселов, Л. М. Рудаков. – М.: Гидрометеиздат, 1971. – 16 с.
7. **Леонович, И. И.** Тенденции изменения климата в Республике Беларусь и их учет при зимнем содержании автомобильных дорог / И. И. Леонович // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2003. – С. 11–13.
8. **Богданович, С. В.** Анализ моделей прогнозирования температуры дорожного покрытия с использованием экспериментальных данных / С. В. Богданович, В. И. Жилинский // Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-ти. – 2006. – Вып. XIV. – С. 103–106.

Поступила 28.12.2006